

TECHNOPHILITY OF HEAVY METALS

T.F. Yakovyshyna, Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor
A.Je. Maliy, Master
Prydneprov'ska State Academy of Civil Engineering and
Architecture, Ukraine

The article deals with the migration ability of heavy metals in terms of the ionic radius, Kartlendzh and power coefficient, as well as the growth of their technophility with identification of the most dangerous pollutants for the biosphere during over a hundred years.

Keywords: technophility, heavy metals, pollution, biosphere, technogenesis.

Conference participants


ТЕХНОФИЛЬНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Яковишина Т.Ф., к. с.-х. наук, доцент
Малий А.Э., магистр
Приднепровская государственная академия строительства
и архитектуры, Украина

В работе изучена миграционная способность тяжелых металлов по показателям ионного радиуса, Картленджа и энергетического коэффициента, а также рост их технофильности с выявлением наиболее опасных для биосферы загрязнителей на протяжении более чем ста лет.

Ключевые слова: технофильность, тяжелые металлы, загрязнение, биосфера, техногенез.

Участники конференции

 <http://dx.doi.org/10.18007/gisap:tsca.v0i10.1509>

В настоящее время в ходе своей хозяйственной деятельности человечество использует практически все химические элементы из периодической таблицы Д.И. Менделеева, однако объемы их потребления могут существенно отличаться. К сожалению, коэффициент полезного действия вовлечения химических элементов непосредственно в продукцию промышленного производства чрезвычайно низок, всего 10 % от добычи, остальное количество рассеивается в виде примесей в биосфере и обуславливает загрязнение ее компонентов, особенно это касается таких токсикантов, как тяжелые металлы. С каждым годом интенсивность техногенеза увеличивается в геометрической прогрессии, что отражается через показатели технофильности, как отношения количества извлеченного тяжелого металла в его кларку в литосфере. Поэтому цель работы заключалась в анализе способности к миграции тяжелых металлов и их технофильности на протяжении 112 лет, что даст возможность выявля-

ния наиболее опасных загрязнителей биосферы с учетом тенденций потребностей человечества в том или ином химическом элементе.

Оценку физико-химических свойств тяжелых металлов к миграции проводили при помощи показателя Картленджа (ПК) и энергетического коэффициента для катионной формы миграции ($\mathcal{E}K_{кат}$):

$$ПК = \frac{Z}{R_i},$$

$$\mathcal{E}K_{кат} = \frac{Z^2}{2R_i} [0,75(R_i + 0,2)]$$

где Z – заряд иона; R_i – радиус иона, Å [1].

Показатель Картленджа является фактором электростатических особенностей иона, а энергетический коэффициент – пай энергии, которая выделяется при образовании кристаллической решетки минералов, в состав которых входят тяжелые металлы.

Технофильность тяжелого металла определяли как отношение добычи (D) к его кларку в литосфере (K)

в динамике с выборкой более чем в 100 лет:

$$T_x = D/K, \%$$

Анализ технофильности осуществляли, пользуясь данными United States Geological Survey относительно их годовой добычи [2].

Внутренние факторы миграции тяжелых металлов, напрямую зависящие от строения их атомов, а именно способности образовывать летучие, растворимые или инертные формы, характеризовали, используя ионный радиус, показатель Картленджа и энергетические коэффициенты. От величин ионных радиусов зависит растворимость соединений, их твердость, температура плавления и кипения, структура и энергия кристаллических решеток минералов, что в дальнейшем оказывает влияние на миграцию атомов химических элементов и рассеивание их в биосфере. Согласно А.С. Ферману дальность миграции атомов определяется за-

Табл. 1.

Физико-химические показатели миграционной способности катионов тяжелых металлов

Ион тяжелого металла	Радиус иона, Å	Показатель Картленджа	Энергетический коэффициент
Cr^{2+}	1,83	1,09	1,77
Pb^{2+}	1,32	1,52	1,73
Cd^{2+}	1,03	1,94	1,79
Mn^{2+}	0,91	2,20	1,83
Co^{2+}	0,82	2,44	1,86
Zn^{2+}	0,81	2,47	1,87
Cu^{2+}	0,80	2,50	1,88
Ni^{2+}	0,74	2,70	1,90

Табл. 2.

Изменение технофильности тяжелых металлов на протяжении
XX-XXI веков

Годы	Технофильность
1900	Pb > Cu > Cr > Zn > Ni > Mn > Cd > Mo
1901	Cu > Zn > Cr > Ni > Mn > Cd > Mo > Co
1902-1903	Cu > Zn > Cr > Ni > Mn > Cd > Co > Mo
1904	Cu > Cr > Zn > Ni > Cd > Mn > Co > Mo
1905	Cu > Cr > Zn > Ni > Cd > Mn > Mo > Co
1906	Pb > Cu > Cr > Zn > Ni > Cd > Mn > Mo > Co
1907	Pb > Cu > Zn > Cr > Ni > Cd > Mn > Co > Mo
1908	Pb > Cu > Zn > Ni > Cd > Cr > Mn > Co > Mo
1909-1910	Pb > Cu > Zn > Cr > Ni > Cd > Mn > Co > Mo
1911-1912	Pb > Cu > Zn > Ni > Cd > Cr > Mn > Mo > Co
1913	Pb > Cu > Zn > Ni > Cr > Cd > Mn > Mo > Co
1914	Cu > Cr > Cd > Zn > Ni > Mn > Mo > Co
1915	Cu > Cr > Ni > Cd > Zn > Mn > Mo > Co
1916	Cu > Cr > Cd > Ni > Zn > Mn > Mo > Co
1917	Cu > Cd > Cr > Ni > Zn > Mn > Mo > Co
1918	Cu > Cr > Cd > Ni > Zn > Mn > Mo > Co
1919	Pb > Cu > Cr > Cd > Zn > Ni > Mn > Mo > Co
1920	Pb > Cu > Cr > Ni > Cd > Zn > Mn > Mo > Co
1921	Pb > Cu > Cr > Cd > Zn > Ni > Mn > Mo > Co
1922	Pb > Cu > Cd > Cr > Zn > Ni > Mn > Co > Mo
1923-1925	Pb > Cu > Cd > Cr > Zn > Ni > Mn > Mo > Co
1926	Cd > Cu > Cr > Zn > Ni > Mn > Mo > Co
1927	Pb > Cu > Cd > Cr > Zn > Ni > Mn > Mo > Co
1928	Pb > Cd > Cu > Cr > Zn > Ni > Mn > Mo > Co
1929-1930	Pb > Cd > Cu > Cr > Ni > Zn > Mn > Mo > Co
1931	Pb > Cd > Cu > Cr > Zn > Ni > Mn > Mo > Co
1932	Pb > Cd > Cu > Cr > Zn > Ni > Mn > Co > Mo
1933	Pb > Cd > Cu > Cr > Ni > Zn > Mn > Mo > Co
1934-1936	Cd > Pb > Cu > Cr > Ni > Zn > Mn > Mo > Co
1937	Cd > Cu > Cu > Cr > Zn > Ni > Mn > Mo > Co
1938-1939	Cd > Pb > Cu > Cr > Ni > Zn > Mn > Co > Mo
1940-1944	Cd > Cu > Cr > Ni > Zn > Mn > Mo > Co
1945-1947	Cd > Pb > Cu > Cr > Ni > Zn > Mn > Mo > Co
1948-1951	Cd > Pb > Cu > Cr > Ni > Zn > Mn > Co > Mo
1952-1953	Cd > Pb > Cr > Cu > Ni > Zn > Mn > Co > Mo
1954	Cd > Pb > Cu > Cr > Ni > Zn > Mn > Co > Mo
1955-1957	Cd > Pb > Cr > Cu > Ni > Zn > Mn > Co > Mo
1958-1974	Cd > Pb > Cu > Cr > Ni > Zn > Mn > Co > Mo
1975	Cd > Pb > Cr > Cu > Ni > Zn > Mn > Co > Mo
1976-1977	Cd > Pb > Cu > Cr > Ni > Zn > Mn > Mo > Co
1978	Cd > Pb > Cr > Cu > Ni > Zn > Mn > Co > Mo
1979	Cd > Pb > Cu > Cr > Ni > Zn > Mn > Co > Mo
1980	Cd > Pb > Cr > Cu > Ni > Zn > Mn > Co > Mo
1981-1982	Cd > Pb > Cu > Cr > Ni > Zn > Mn > Co > Mo
1983	Cd > Pb > Cu > Cr > Ni > Zn > Co > Mn > Mo
1984-1988	Cd > Pb > Cr > Cu > Ni > Zn > Co > Mn > Mo
1989-1990	Cd > Cr > Pb > Cu > Ni > Zn > Co > Mn > Mo
1991	Cd > Cr > Pb > Cu > Ni > Zn > Mo > Co > Mn
1992	Cd > Pb > Cr > Cu > Ni > Zn > Mo > Mn > Co
1993-1994	Cd > Cu > Pb > Cr > Ni > Zn > Mo > Mn > Co
1995	Cd > Cr > Cu > Pb > Ni > Zn > Mo > Mn > Co
1996	Cd > Cu > Cr > Pb > Ni > Zn > Mo > Mn > Co
1997	Cd > Cr > Cu > Pb > Ni > Zn > Mo > Mn > Co
1998-2000	Cd > Cr > Cu > Pb > Ni > Zn > Mo > Co > Mn
2001	Cd > Cu > Cr > Pb > Ni > Zn > Mo > Mn > Co
2002-2004	Cd > Cu > Cr > Pb > Ni > Zn > Co > Mo > Mn
2005-2012	Cd > Cr > Cu > Pb > Ni > Zn > Co > Mo > Mn

кономерностями изменения величин радиусов химических элементов в зависимости от их положения в таблице Д.И. Менделеева, а именно: с увеличением порядкового номера они возрастают в группах, напротив, в периодах – уменьшаются; по диагонали – являются близкими по размерам (правило диагональных рядов); с увеличением заряда катиона уменьшаются, а аниона – увеличиваются. Относительно картлей выполняется условие ($PK < 3$), следовательно, изучаемые тяжелые металлы относятся к элементам, катионы которых легко переходят в природные воды, комплексные ионы не образуются. Значения энергетических коэффициентов прямо пропорционально зависели от валентности и обратно пропорционально от ионного радиуса (табл. 1). Дальность миграции атомов химических элементов возрастала при условии увеличения радиусов и, напротив, уменьшении значений показателя Карлленджа и энергетических коэффициентов в ряду от Cr^{2+} до Ni^{2+} .

Тяжелые металлы являются рассеянными химическими элементами, однако значения их кларков в земной коре могут существенно варьировать, например Zn – $8,3 \cdot 10^{-3}$; Pb – $1,6 \cdot 10^{-3}$; Cu – $4,7 \cdot 10^{-3}$; Mn – 10^{-1} ; Cd – $1,3 \cdot 10^{-6}$ [3]. При этом отличаясь кларками и размерами добычи, они могут иметь одинаковую технофильность, а, следовательно, человечество использует их в своей хозяйственной деятельности пропорционально распределению в литосфере, что характерно для Cd и Hg. Показатели технофильности были динамичны по времени, иногда изменялись на несколько порядков за время выборки, что обуславливалось потребностью человечества в том или ином химическом элементе, и отражалось через объем добычи, которая возросла в XXI веке по сравнению с XX у Zn – 28,18; Pb – 6,90; Cu – 34,14; Ni – 238,97; Cr – 478, 19; Co – 579, 22; Cd – 1492,86 раз. Ряды технофильности, приведенные в табл. 2, дали возможность оценить степень вовлечения тяжелых металлов в техногенез и распространения их в биосфере. Как правило, в естественных условиях тяжелые металлы находятся в виде слаборастворимых

соединений, которые скрыты в толще земной коры. Однако человеческая деятельность способствует их извлечению на поверхность, трансформации соединений в более активные, в виде которых они могут включаться в трофические цепи и мигрировать в окружающей природной среде. До середины 30 гг. XX века наиболее опасным техногенным мигрантом являлся свинец, затем конкуренцию ему составляет кадмий, оба металла относятся к элементам первого класса токсичности, способны вызывать рост онкозаболеваний. С 1989 г. человечество осознает отрицательное влияние свинца на здоровье, которое проявляется в виде нервных расстройств, гиперактивности у детей, и постепенно потребление снижается (запрет на ядохимикаты содержащие свинец, попытка замены тетраэтилсвинца в топливе и т.д.), что, в свою очередь, отражается на его технофильности. В настоящее время наиболее потребляемыми элементами являются кадмий, хром и медь.

Подытожив выше изложенное, следует отметить, что, во-первых, технофильность тяжелых металлов, которая отражает потребности чело-

вещества в том или ином химическом элементе на протяжении последнего столетия возросла на несколько порядков, а, во-вторых, как в начале XX века, так и в XXI веке первое место занимают элементы первого класса токсичности, способные оказывать вредное воздействие на здоровье человека, рассеивание которых в биосфере нежелательно.

References:

1. Fedorova G.V. Praktikum z biogeohimii dlja ekologiv: Navchal'nij posibnik [Workshop on biogeochemistry for environmentalists: textbook], G.V. Fedorova. – Kiev., “KNT”, 2007. – 288 p.
2. Kelly Thomas D. Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States., Kelly Thomas D., Matos Grecia R., Access mode: <http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics>.
3. Alekseenko V.A. Geohimija landshafta i okružhajushhej sredy [Geochemistry of landscape and environment], V.A. Alekseenko. – Moskva., Science, 1990. – 142 p.

Литература:

1. Федорова Г.В. Практикум з біогеохімії для екологів: Навчальний посібник., Г.В. Федорова. – Київ., “КНТ”, 2007. – 288 с.
2. Kelly Thomas D. Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States., Kelly Thomas D., Matos Grecia R. – Режим доступа: <http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics>.
3. Алексеенко В.А. Геохимия ландшафта и окружающей среды., В.А. Алексеенко. – Москва., Наука, 1990. – 142 с.

Information about authors:

1. Tetiana Yakovyshyna - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Prydneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture; address: Ukraine, Dnieper city; e-mail: t_yakovyshyna@ukr.net
2. Anastasia Maliy - Master, Prydneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture; address: Ukraine, Dnieper city; e-mail: t_yakovyshyna@ukr.net

